Journal of Agroecology
Vol. 11, No.4, Winter 2020, p. 1437-1448

نشریه بوم شناسی کشاورزی
جلد ۱۱، شماره ۴، زمستان ۱۳۹۸، ص ۱۴۴۸-۱۴۳۷

نقش اصلاح‌کننده‌های خاک‌های آهکی بر عملکرد کمّی و کیفی سیاهدانه (*Nigella sativa* L.)

سید محمد سیدی[1]، پرویز رضوانی‌مقدم[2*]، محمد خواجه حسینی[3] و حمید شاهنده[4]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۰۸/۱۵
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۰۶/۰۳

سیدی، س.م.، رضوانی‌مقدم، پ.، خواجه حسینی، م. و شاهنده، ح. ۱۳۹۸. نقش اصلاح‌کننده‌های خاک‌های آهکی بر عملکرد کمّی و کیفی سیاهدانه (*Nigella sativa* L.). بوم‌شناسی کشاورزی، ۱۱ (۴): ۱۴۴۸-۱۴۳۷.

چکیده

به‌منظور تأثیر گوگرد و باکتری‌های اکسیدکننده گوگردی بر میزان مصرف فسفر و تأثیر آن بر عملکرد کمّی و کیفی سیاهدانه (*Nigella sativa* L.) در خاک آهکی، آزمایشی در سال زراعی ۹۲-۱۳۹۱ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد به اجرا در آمد. این مطالعه به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ۱۲ تیمار و سه تکرار طراحی شد. چهار اصلاح‌کننده خاک آهکی (شاهد، ورمی‌کمپوست + باکتری *تیوباسیلوس*، گوگرد + باکتری *تیوباسیلوس* و ورمی کمپوست + گوگرد + باکتری *تیوباسیلوس*) و سه سطح کاربرد فسفر (صفر، ۳۰ و ۶۰ کیلوگرم در هکتار) به‌ترتیب به‌عنوان عامل اول و دوم آزمایش انتخاب شدند. بر اساس نتایج تجزیه واریانس، ارتفاع بوته، شاخص سطح برگ و وزن خشک بوته سیاهدانه در مرحله گل‌دهی به‌طور معنی‌دار تحت تأثیر اثر متقابل مقدار فسفر و اصلاح‌کننده‌های خاک قرار گرفتند. هم‌چنین اثر متقابل ذکر شده بر عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک سیاهدانه معنی‌دار بود. در شرایط عدم کاربرد فسفر، نقش تیمار گوگرد + باکتری *تیوباسیلوس* در افزایش معنی‌دار عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک سیاهدانه بیش از کاربرد ۳۰ و ۶۰ کیلوگرم در هکتار فسفر به تنهایی بود. کاربرد ورمی‌کمپوست + باکتری *تیوباسیلوس* به تنهایی و یا همراه با گوگرد بیش‌ترین تأثیر معنی‌دار را در افزایش عملکرد دانه و بیولوژیک سیاهدانه داشت. به‌طوری‌که در نتیجه کاربرد تیمار ورمی‌کمپوست + باکتری *تیوباسیلوس* و نیز تیمار ورمی‌کمپوست + گوگرد + باکتری *تیوباسیلوس*، عملکرد دانه نسبت به تیمار شاهد به‌ترتیب تا ۶۳/۳ و ۸۴/۴ درصد افزایش یافت. در خاک‌های آهکی، اکسیداسیون بیولوژیکی گوگرد به تنهایی و یا همراه با کود ورمی‌کمپوست می‌تواند به راهکاری مناسب جهت فراهمی بیش‌تر فسفر در خاک و افزایش عملکرد کمّی و کیفی سیاهدانه مطرح باشد.

واژه‌های کلیدی: باکتری *تیوباسیلوس*، درصد اسانس، درصد روغن، گوگرد، ورمی‌کمپوست

مقدمه

سیاهدانه (*Nigella sativa* L.) به‌عنوان گیاهی دارویی متعلق به خانواده آلاله (Ranunculaceae) عمدتاً در مناطق خشک و نیمه‌خشک کشور کشت می‌شود (D'Antuono et al., 2002; Ghamarnia et al., 2010). به‌دلیل وجود خواص ویژه سیاهدانه مانند اثرات ضد باکتریایی، ضد انگلی و ضد التهابی، از دیرباز استفاده از این گیاه دارویی در طب سنتی ایران مورد توجه بوده است (Nickavar et al., 2003). وجود ترکیبات قوی آنتی‌اکسیدانی در بذرهای این گیاه نیز به اثبات رسیده است (Erkan et al., 2008). بر اساس تجزیه کیفی، بذر سیاهدانه دارای ۲۱ درصد پروتئین خام و ۴۰-۳۸ درصد چربی می‌باشد (Al-Jassir, 1992; Takruri & Dameh, 1998).

فسفر به‌عنوان دومین عنصر مهم در تغذیه گیاهی، از مؤثرترین عوامل در بهبود عملکرد و کیفیت گیاهان دارویی به‌شمار می‌رود (Mohamed et al., 2000; Alijani et al., 2010). در این ارتباط تونتورک و همکاران (Tuncturk et al., 2011) نقش مؤثر فسفر را در افزایش معنی‌دار ارتفاع و تعداد شاخه در بوته، تعداد کپسول در

۱، ۲، ۳ و ۴- به‌ترتیب دانشجوی دکترای اکولوژی گیاهان زراعی، استاد و دانشیار دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد، ایران و استاد گروه علوم خاک و گیاه دانشگاه تگزاس امریکا
(*- نویسنده مسئول: Email: rezvani@ferdowsi.um.ac.ir)
Doi: 10.22067/jag.v11i4.27851

بوته، وزن هزار دانه و عملکرد دانه سیاهدانه گزارش کردند. محمد و همکاران (Mohamed et al., 2000) نیز نقش فسفر را در افزایش عملکرد دانه، عملکرد روغن و اسانس سیاهدانه مورد تأکید قرار دادند.

محدودیت و انحلال پایین فسفر ناشی از pH بالای خاک‌های آهکی مناطق خشک و نیمه‌خشک ایران، از مشکلات مهم در راستای تغذیه پایدار گیاهان زراعی به‌شمار می‌رود (Kariminia & Shabanpour, 2002; Sameni & Kasraian, 2004). در برخی شرایط، قابلیت جذب پایین فسفر در خاک‌های آهکی صرفاً به‌معنای مقدار پایین فسفر در خاک تلقی نمی‌شود؛ بلکه فسفر قابل جذب در خاک می‌تواند با تبدیل شدن به فسفات کلسیم[1]، برای گیاه غیرقابل جذب گردد (Hopkins & Ellsworth., 2005, Khorassani, 2010). علاوه‌براین، پایین بودن میزان ماده آلی خاک در مناطق ذکر شده نیز می‌تواند بر فراهمی فسفر و در نتیجه تولید پایدار گیاهان زراعی تأثیر منفی داشته باشد (Shirani et al., 2011). از این‌رو اصلاح خاک‌های آهکی با استفاده از برخی رهیافت‌های اکولوژیک مانند اکسیداسیون بیولوژیک گوگرد توسط باکتری‌های جنس *تیوباسیلوس*[2] (Salimpour et al., 2010) و یا تأمین فسفر از منابع آلی (Hosseinpur et al., 2011) مانند ورمی‌کمپوست (Mohammady Aria et al., 2010) می‌تواند ضمن بهبود میزان ماده آلی خاک و فراهمی جذب فسفر، افزایش پایداری تولید سیاهدانه را در مناطق خشک و نیمه‌خشک کشور امکان‌پذیر نماید.

با توجه به حساسیت سیاهدانه به کمبود فسفر در خاک‌های آهکی (Seyyedi et al., 2012)، این آزمایش با هدف مطالعه و بررسی منابع اصلاح‌کننده خاک و تأمین‌کننده فسفر شامل اکسیداسیون بیولوژیکی گوگرد و کود آلی ورمی‌کمپوست بر عملکرد و اجزای عملکرد و نیز عملکرد کیفی سیاهدانه انجام شد. هم‌چنین واکنش سیاهدانه به اصلاح‌کننده‌های آلی در مقایسه با منبع شیمیایی تأمین‌کننده فسفر نیز مورد مطالعه قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در سال زراعی ۹۲-۱۳۹۱ به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار و ۱۲ تیمار در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد واقع در ۱۰ کیلومتری مشهد (با عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۱۶ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۹ درجه و ۳۶ دقیقه شرقی) انجام شد.

بر اساس نتایج حاصل از بررسی مقدماتی در شرایط گلخانه‌ای و در یک خاک آهکی (Seyyedi et al., 2013)، پس از انتخاب تیمارها، چهار منبع اصلاح‌کننده خاک آهکی شامل ۱- شاهد، ۲- ورمی‌کمپوست (از منبع کود گاوی)+ باکتری *تیوباسیلوس* (V+T)، ۳- گوگرد + باکتری *تیوباسیلوس* (S+T) و ۴- ورمی‌کمپوست + گوگرد + باکتری *تیوباسیلوس* (V+S+T) و سه سطح کاربرد فسفر (صفر، ۳۰ و ۶۰ کیلوگرم در هکتار از منبع دی فسفات آمونیوم) به‌ترتیب عامل اول و عامل دوم آزمایش در نظر گرفته شدند.

زمین مورد نظر در سال پیش از اجرا به‌صورت آیش بود که نتایج برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی آن در جدول ۱ ارائه شده است. در اواخر اسفند ماه سال ۱۳۹۱، جهت آماده‌سازی خاک زمین، شخم اولیه و ثانویه انجام و پس از تسطیح و ایجاد جوی و پشته، اقدام به ایجاد کرت‌هایی با ابعاد ۳ × ۲ متر (شش مترمربع) شد. فاصله کرت‌ها و پشته‌ها از یکدیگر نیم و فاصله بلوک‌ها نیز از یکدیگر یک متر در نظر گرفته شد.

بر اساس تیمارهای آزمایش، ورمی‌کمپوست معادل ۱۰ تن در هکتار و گوگرد (به‌صورت گوگرد عنصری میکرونیزه) به‌میزان ۲۰ تن در هکتار همراه با باکتری *تیوباسیلوس* (تهیه شده از مؤسسه زیستی مهر آسیا) پیش از کاشت مصرف گردید. کود فسفات دی آمونیوم نیز در یک مرحله به‌صورت پیش از کاشت استفاده شد. به‌دلیل استفاده از کود شیمیایی فسفات دی آمونیوم به‌عنوان منبع شیمیایی فسفر (دارای ۲۰ درصد فسفر خالص یا ۴۶ درصد P_2O_5 و نیز دارای ۱۸ درصد نیتروژن خالص) و در نتیجه متفاوت بودن میزان نیتروژن مصرف شده در کرت‌ها، به سطوح صفر، ۳۰ و ۶۰ کیلوگرم فسفر خالص در هکتار، به‌ترتیب ۵۴، ۲۷ و صفر کیلوگرم در هکتار نیتروژن خالص (به‌صورت اوره) داده شد تا به تمامی کرت‌ها نیتروژن مساوی داده شود. هم‌چنین در دو مرحله چهار تا شش برگی و نیز پیش از گل‌دهی (Javadi, 2008)، کود نیتروژن به‌صورت سرک (هر مرحله ۳۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن خالص از منبع اوره) به تمامی کرت‌ها اعمال گردید.

1- Calcium phosphate
2- *Tiobacilus* spp.

جدول ۱- برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک و کود ورمی‌کمپوست مورد استفاده در آزمایش
Table 1- Some of physical and chemical properties of field soil and vermicompost used in experiment

کربنات کلسیم CaCo (%)	هدایت الکتریکی EC ($dS.m^{-1}$)	pH (1:2)	پتاسیم قابل جذب Available K (%)	فسفر اولسن Olsen-P ($mg.kg^{-1}$)	فسفر کل Total P (%)	نیتروژن کل Total N (%)	شن Sand (%)	سیلت Silt (%)	رس Clay (%)	نمونه Sample
11.17	0.75	8.39	173.36	10.59	0.056	0.08	19.59	31.95	48.46	خاک Soil
-	8.15	8.24	-	138.13	1.13	-	-	-	-	ورمی‌کمپوست Vermicompost

عملیات کاشت سیاهدانه (توده سمیرم اصفهان) در طرفین پشته‌های هر کرت در بیست و ششم اسفند ماه ۱۳۹۱ انجام گرفت. گیاهچه‌های سیاهدانه در مرحله چهار برگی برای رسیدن به تراکم مورد نظر (۲۰۰ بوته در مترمربع) با فاصله روی ردیف دو سانتی‌متر تنک شدند. اولین آبیاری بلافاصله بعد از کاشت و سایر آبیاری‌ها به‌صورت هفته‌ای یک بار و تا زمان رسیدگی فیزیولوژیک انجام گرفت. وجین علف‌های هرز در طی فصل رشد در سه مرحله انجام شد. در طول مراحل انجام این آزمایش نیز از هیچ‌گونه علف‌کش و آفت‌کش شیمیایی استفاده نگردید.

در مرحله گل‌دهی، سیاهدانه دارای حداکثر سطح برگ و سرعت رشد محصول می‌باشد (Seyyedi et al., 2013). بر این اساس، هم‌زمان با مرحله حداکثر گل‌دهی، ارتفاع بوته، شاخص سطح برگ و وزن خشک بوته در سطحی معادل هشت بوته (۰/۱ × ۰/۵ متر) تعیین شد. عملیات برداشت با مشاهده زرد شدن بوته‌ها و فولیکول‌ها در هفتم مرداد ۱۳۹۲ انجام گرفت. قبل از برداشت و با رعایت اثر حاشیه، تعداد هشت بوته به‌طور تصادفی از هر کرت برداشت و برخی اجزای عملکرد مانند ارتفاع بوته و تعداد فولیکول در بوته تعیین شد. عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت (بر حسب کیلوگرم در هکتار) نیز در کل مساحت هر کرت و با رعایت اثر حاشیه اندازه‌گیری شد. هم‌چنین درصد اسانس، درصد روغن (به‌روش استخراج توسط هگزان) (Ashraf et al., 2006) و درصد پروتئین خام دانه نیز اندازه‌گیری شد. هم‌چنین با تعیین درصد نیتروژن دانه توسط روش استاندارد کجلدال (AOAC, 1980)، درصد پروتئین خام (درصد نیتروژن × ۶/۲۵) تعیین شد (Nergiz & Otles, 1993).

تجزیه و تحلیل داده‌های آزمایش با استفاده از نرم‌افزار SAS انجام گرفت. میانگین‌ها نیز با استفاده از آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار (LSD) و در سطح احتمال پنج درصد مورد مقایسه آماری قرار گرفتند.

نتایج و بحث

صفات مورد ارزیابی سیاهدانه در مرحله گل‌دهی

بر اساس نتایج تجزیه واریانس، ارتفاع بوته، شاخص سطح برگ و وزن خشک بوته سیاهدانه به‌طور معنی‌دار تحت تأثیر اثر متقابل مقدار فسفر و اصلاح‌کننده‌های خاک قرار گرفت (جدول ۲). در شرایط عدم کاربرد فسفر، تیمارهای گوگرد + باکتری *تیوباسیلوس* (S + T)، ورمی‌کمپوست + باکتری *تیوباسیلوس* (V + T) و ورمی‌کمپوست + گوگرد + باکتری *تیوباسیلوس* تأثیر معنی‌داری در افزایش ارتفاع بوته، شاخص سطح برگ و تولید ماده خشک سیاهدانه در مقایسه با شاهد داشت (جدول ۳). بیش‌ترین افزایش ارتفاع بوته، شاخص سطح برگ و تولید ماده خشک در نتیجه کاربرد ورمی‌کمپوست + گوگرد + باکتری *تیوباسیلوس* به‌دست آمد. در این ارتباط یادگاری و برزگر (Yadegari & Barzegar, 2011) نیز افزایش وزن خشک گیاه دارویی بادرنجبویه (*Melissa officinalis* L.) را در نتیجه کاربرد کود دامی + گوگرد به‌میزان ۴۰۰ کیلوگرم در هکتار + باکتری *تیوباسیلوس* گزارش نمودند. در خاک‌های آهکی، علاوه‌بر تأثیر اکسیداسیون گوگرد در افزایش انحلال فسفر خاک (Soaud et al., 2012)، نقش مؤثر کاربرد ورمی‌کمپوست را می‌توان ناشی از فراهمی متعادل عناصر غذایی در خاک، منبع انرژی برای فعالیت هرچه بیش‌تر باکتری‌های اکسیدکننده گوگرد (Mohammady Aria et al., 2010)، تولید گاز کربنیک (Foroughifar & Poor Kasmani, 2002) و نیز انواع اسیدهای آلی مانند اسید سیتریک و اسید اگزالیک در طی فرآیند تجزیه ماده آلی و در نتیجه کاهش موضعی pH خاک ناحیه ریزوسفر دانست (Biswas & Narayanasamy, 2006).

جدول ۲- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) صفات مورد ارزیابی سیاه‌دانه در مرحله گل‌دهی

Table 2- Analysis of variance (mean of squares) of some studied traits of black seed in flowering stage

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	ارتفاع بوته Plant height	شاخص سطح برگ Leaf area index	وزن خشک بوته Plant dry weight
بلوک Block	2	0.92 ns	0.01 ns	7209.58 ns
فسفر Phosphorus	2	337.82 **	0.15 **	101222.24 **
اصلاح‌کننده‌های خاک Soil amendments	3	612.94 **	1.14 **	779360.30 **
فسفر×اصلاح‌کننده‌های خاک Phosphorus×Soil amendments	6	49.94 *	0.03 *	20002.22 *
خطا Error	22	18.39	0.0089	6205.22
ضریب تغییرات CV (%)	-	8.45	8.65	8.70

*، ** و ns: به‌ترتیب معنی‌داری در سطح پنج درصد، یک درصد و عدم اختلاف معنی‌دار.

*, ** and ns: significant at the 0.05 and 0.01 level of probability and no significant, respectively.

جدول ۳- اثرات متقابل مقدار فسفر و اصلاح‌کننده‌های خاک بر برخی شاخص‌های مورد مطالعه سیاه‌دانه در مرحله گل‌دهی

Table 3- Interaction effects of phosphorus rate×soil amendments on some studied traits of black seed in flowering stage

فسفر P ($kg.ha^{-1}$)	اصلاح‌کننده‌های خاک Soil amendments	ارتفاع بوته Plant height (cm)	شاخص سطح برگ Leaf area index	وزن خشک بوته Plant dry weight ($g.m^{-2}$)
0	C	33.33	0.45	373.13
	S+T	44.83	1.06	875.23
	V+T	40.63	0.87	716.90
	V+S+T	60.00	1.50	1244.73
30	C	44.17	0.71	588.08
	S+T	59.33	1.34	1111.83
	V+T	47.33	1.02	840.63
	V+S+T	61.67	1.44	1190.93
60	C	46.67	0.80	661.60
	S+T	59.67	1.40	1161.40
	V+T	53.00	1.06	878.75
	V+S+T	58.67	1.47	1217.22
LSD (5%)		7.26	0.16	133.40

C: شاهد، S: گوگرد، T: باکتری تیوباسیلوس، V: ورمی‌کمپوست

C: control, S: Sulfur, T: *Tiobacilus* bacteria, V: Vermicompost

عملکرد و اجزای عملکرد سیاهدانه

ارتفاع بوته

ارتفاع بوته سیاهدانه نیز تحت تأثیر اثرات مقدار فسفر و اصلاح‌کننده‌های خاک قرار گرفت. با این وجود، اثر متقابل فسفر و اصلاح‌کننده‌های خاک بر شاخص ذکر شده معنی‌دار نبود (جدول ۴). افزایش سطوح کود شیمیایی فسفر به‌طور معنی‌دار منجر به بهبود ارتفاع بوته شد. هم‌چنین حلالیت فسفر در نتیجه کاربرد گوگرد + باکتری *تیوباسیلوس* نیز به‌طور معنی‌دار افزایش ارتفاع بوته سیاهدانه را در پی داشت (جدول ۵).

به‌طور کلی، حداکثر رشد و عملکرد گیاهان زراعی تحت تأثیر تعادل جذب عناصر غذایی می‌باشد (Kuzmina, 1997). با توجه به اهمیت نیتروژن در تحریک رشد رویشی (Cechin & De Fátima-Fumis, 2004) و نیز همبستگی مثبت بین جذب گوگرد و نیتروژن (Salvagiotti et al., 2009) و نیز فسفر و نیتروژن (Duan, 2004)، نقش مؤثر واکنش اکسیداسیون بیولوژیک گوگرد در بهبود ارتفاع سیاهدانه می‌تواند به‌دلیل افزایش حلالیت فسفر خاک و جذب بیش‌تر این عنصر باشد که به‌دنبال آن امکان جذب بیش‌تر نیتروژن را برای گیاه فراهم می‌نماید.

جدول ٤- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) عملکرد و اجزای عملکرد سیاهدانه

Table 4- Analysis of variance (mean of squares) for yield components and quantitative yields of black seed

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	ارتفاع بوته Plant height	تعداد فولیکول در بوته Number of follicle per plant	عملکرد دانه Seed yield	عملکرد بیولوژیک Biological yield	شاخص برداشت Harvest index
بلوک Block	2	8.33 ns	42.19 ns	6855.35 ns	21323.51 ns	2.86 ns
فسفر Phosphorus rate	2	212.58 **	222.19 **	21563.07 **	108398.43 *	8.83 *
اصلاح‌کننده‌های خاک Soil amendments	3	471.22 **	1397.96 **	319551.90 **	2145976.17 **	5.43 *
فسفر × اصلاح‌کننده‌های خاک Phosphorus×Soil amendments	6	13.81 ns	56.60 *	9060.72 *	84614.08 *	2.31 ns
خطا Error	22	7.58	21.44	2452.35	31942.13	1.66
ضریب تغییرات CV (%)	-	4.63	8.89	16.41	8.42	4.70

*، ** و ns: به‌ترتیب معنی‌داری در سطح پنج درصد، یک درصد و عدم اختلاف معنی‌دار.

*, ** and ns: significant at the 0.05 and 0.01 level of probability and no significant, respectively.

جدول ٥- اثر مقدار فسفر و اصلاح‌کننده‌های خاک بر اجزای عملکرد و عملکرد کمّی سیاهدانه

Table 5- Effects of phosphorus rate and soil amendments on some yield components and quantitative yields of black seed

مقدار فسفر Phosphorus ($kg.ha^{-1}$)	اصلاح‌کننده‌های خاک Soil amendments	ارتفاع بوته Plant height (cm)	تعداد فولیکول در بوته Number of follicle per Plant	عملکرد دانه Seed yield ($kg.ha^{-1}$)	عملکرد بیولوژیک Biological yield ($kg.ha^{-1}$)	شاخص برداشت Harvest index (%)
0	-	55.33	47.42	727.55	2082.45	34.76
30	-	59.42	52.83	778.03	2130.32	36.45
60	-	63.75	55.91	811.78	2265.70	35.85
LSD (5%)		2.33	3.92	46.90	139.98	0.96
-	C	49.44	36.33	523.39	1514.52	34.63
-	V+T	64.77	61.56	854.77	2355.92	36.29
-	S+T	59.00	47.78	746.72	2100.77	35.57
-	V+S+T	64.78	62.56	964.93	2666.74	36.25
LSD (5%)		2.69	4.53	48.41	174.73	1.26

C: شاهد، S: گوگرد، T: باکتری تیوباسیلوس، V: ورمی‌کمپوست

C: control, S: Sulfur, T: *Tiobacilus* bacteria, V: Vermicompost

بر اساس نتایج به‌دست آمده، افزایش نسبتاً جزئی ارتفاع بوته سیاهدانه از مرحله گل‌دهی تا برداشت (از ۵۰/۸ به ۵۹/۵ سانتی‌متر) نیز ممکن است نشان‌دهنده آن باشد که در سیاهدانه، حداکثر جذب عناصری مانند نیتروژن و یا فسفر تا مرحله گل‌دهی اتفاق می‌افتد. به‌طور کلی در گیاهان زراعی یک‌ساله، حداکثر میزان جریان فسفر خالص[1] از خاک به گیاه در زمان گل‌دهی بوده و پس از آن میزان این انتقال کاهش می‌یابد (White & Veneklaas, 2012).

تعداد فولیکول در بوته

بر اساس نتایج تجزیه واریانس، اثر متقابل مقدار فسفر و منابع اصلاح‌کننده خاک بر تعداد فولیکول در بوته سیاهدانه معنی‌دار بود (جدول ۴).

1- Net phosphorus flux

جدول ٦- اثر متقابل مقدار فسفر و اصلاح‌کننده‌های خاک بر اجزای عملکرد و عملکرد کمّی سیاهدانه

Table 6- Interaction effects of phosphorus rate×soil amendments on some yield components and quantitative yields of black seed

مقدار فسفر Phosphorus rate ($kg.ha^{-1}$)	اصلاح‌کننده‌های خاک Soil amendments	تعداد فولیکول در بوته Number of follicle per Plant	عملکرد دانه Seed yield ($kg.ha^{-1}$)	عملکرد بیولوژیک Biological yield ($kg.ha^{-1}$)
0	C	25.7	412.62	1433.61
	V+T	58.7	822.92	2291.32
	S+T	45.0	621.36	1789.14
	V+S+T	60.3	953.28	2665.72
30	C	38.3	527.26	1485.09
	V+T	63.3	884.59	2398.64
	S+T	45.0	761.42	2106.92
	V+S+T	64.7	938.86	2530.61
60	C	45.0	530.29	1474.85
	V+T	62.7	856.81	2377.81
	S+T	53.3	857.37	2406.24
	V+S+T	62.7	1002.63	2803.88
LSD (5%)		21.44	83.85	302.60

C: شاهد، S: گوگرد، T: باکتری تیوباسیلوس، V: ورمی‌کمپوست

C: control, S: Sulfur, T: *Tiobacilus* bacteria, V: Vermicompost

بر اساس نتایج به‌دست آمده، در هر سه سطح مصرف کود شیمیایی فسفر، کاربرد گوگرد + باکتری *تیوباسیلوس* منجر به افزایش معنی‌دار تعداد فولیکول در بوته شد (جدول ۶). موسوی نیک (Mosavi Nik, 2012) نیز در خاکی با pH معادل ۸/۳۸، افزایش ارتفاع بوته، تعداد سنبله در بوته و نیز تعداد دانه در سنبله گیاه اسفرزه (*Plantago ovata* L.) را در نتیجه کاربرد ۲۲۵ کیلوگرم گوگرد در هکتار گزارش نمود. هم‌چنین در هر سه سطح مصرف کود شیمیایی فسفر، کاربرد ورمی‌کمپوست + باکتری *تیوباسیلوس* به تنهایی و یا همراه با گوگرد منجر به افزایش معنی‌دار تعداد فولیکول در بوته تا حدود دو برابر نسبت به شاهد گردید (جدول ۶). مشابه این نتایج، یادگاری و برزگر (Yadegari & Barzegar, 2011) نیز حداکثر تعداد شاخه فرعی در گیاه دارویی بادرنجبویه (*Melissa officinalis* L.) را در نتیجه کاربرد تیمارهای دارای گوگرد، باکتری *تیوباسیلوس* و کود دامی مشاهده کردند.

عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت

بر اساس نتایج تجزیه واریانس، عملکرد دانه و بیولوژیک سیاهدانه نیز تحت تأثیر اثر متقابل مقدار فسفر× منابع اصلاح‌کننده خاک قرار گرفت (جدول ۴). بر اساس نتایج جدول ۶، در شرایط عدم مصرف منابع اصلاح‌کننده خاک، کاربرد کود شیمیایی فسفر در سطوح ۳۰ و ۶۰ کیلوگرم در هکتار منجر به افزایش معنی‌دار عملکرد دانه سیاهدانه به‌میزان ۲۸ درصد نسبت به شرایط عدم مصرف کود شیمیایی فسفر شد. نکته جالب توجه آن که در شرایط عدم کاربرد کود شیمیایی فسفر، نقش تیمار گوگرد + باکتری *تیوباسیلوس* در افزایش معنی‌دار عملکرد دانه و بیولوژیک سیاهدانه بیش از کاربرد ۳۰ و یا ۶۰ کیلوگرم در هکتار کود فسفر به تنهایی بود (جدول ۶). این برتری می‌تواند علاوه‌بر آن‌که نشان‌دهنده پتانسیل بالای خاک محل اجرای در کاهش حلالیت فسفر اعمال شده باشد (جدول ۱)، توانایی نسبتاً بالای واکنش اکسیداسیون گوگرد را در افزایش حلالیت فسفر خاک نشان سازد (Vidyalakshmi et al., 2009; Soaud et al., 2012). مشابه صفت تعداد فولیکول در بوته، کاربرد ورمی‌کمپوست + باکتری *تیوباسیلوس* به تنهایی و یا همراه گوگرد بیش‌ترین تأثیر معنی‌دار را در افزایش عملکرد دانه و بیولوژیک سیاهدانه داشت. به‌طوری‌که در نتیجه کاربرد تیمار ذکر شده، عملکرد دانه تا حدود دو برابر نسبت به تیمار شاهد افزایش یافت (جدول ۶).

با وجود تأثیر معنی‌دار مقدار فسفر و منابع اصلاح‌کننده خاک بر شاخص برداشت سیاهدانه، اثر متقابل مقدار فسفر× منابع اصلاح‌کننده خاک بر شاخص برداشت سیاهدانه معنی‌دار نبود (جدول ۴). بر اساس نتایج جدول ۵، با وجود آن‌که سطوح کود شیمیایی فسفر (۳۰ و ۶۰ کیلوگرم در هکتار) تأثیر معنی‌داری در افزایش شاخص برداشت سیاهدانه داشت؛ بین سطوح ذکر شده، تفاوت معنی‌داری از نظر شاخص برداشت سیاهدانه به‌دست نیامد. هم‌چنین هر سه منبع اصلاح‌کننده خاک آهکی (گوگرد + باکتری *تیوباسیلوس*، ورمی‌کمپوست + باکتری *تیوباسیلوس* به تنهایی و یا همراه گوگرد)

نقش معنی‌داری در افزایش شاخص برداشت سیاهدانه داشتند (جدول ۵). در این ارتباط موسوی نیک (Mosavi Nik, 2012) افزایش معنی‌دار عملکرد دانه، بیولوژیک و شاخص برداشت گیاه دارویی اسفرزه (*Plantago ovata* L.) را در نتیجه کاربرد کود گوگرد مشاهده نمود.

مطالعه اجزای عملکرد و عملکرد کیفی سیاهدانه

درصد و عملکرد پروتئین خام

با وجود تأثیر معنی‌دار مقدار فسفر و منابع اصلاح‌کننده خاک بر درصد و عملکرد پروتئین خام سیاهدانه، اثر متقابل مقدار فسفر× منابع اصلاح‌کننده خاک بر شاخص‌های ذکر شده معنی‌دار نبود (جدول ۷). بر اساس نتایج به‌دست آمده، کاربرد تیمار گوگرد + باکتری *تیوباسیلوس* نقش معنی‌داری در افزایش درصد و عملکرد پروتئین خام سیاهدانه نسبت به شاهد (عدم کاربرد اصلاح‌کننده‌های خاک) داشت (جدول ۸). همان‌طور که پیش‌تر ذکر گردید، با توجه به همبستگی مثبت بین جذب سه عنصر گوگرد، نیتروژن و فسفر، به نظر می‌رسد مجموعه عوامل مؤثر در افزایش انحلال و جذب فسفر، بتواند علاوه‌بر تحریک بیش‌تر جذب نیتروژن و رشد رویشی بیش‌تر، با بهبود درصد پروتئین خام دانه سیاهدانه منجر به افزایش کیفیت دانه در سیاهدانه شود. قربانی نصرآبادی و همکاران (Ghorbani Nasrabadi et al., 2001) نیز افزایش معنی‌دار و ۴۹ درصدی غلظت نیتروژن سویا را در نتیجه کاربرد ۳۰۰۰ کیلوگرم گوگرد در هکتار + باکتری *تیوباسیلوس* مشاهده کردند. در بین منابع اصلاح‌کننده خاک نیز بیش‌ترین افزایش درصد و پروتئین خام سیاهدانه در نتیجه کاربرد ورمی‌کمپوست +گوگرد + باکتری *تیوباسیلوس* به‌دست آمد (جدول ۸).

درصد و عملکرد روغن و اسانس

به‌جز عملکرد روغن، اثر متقابل مقدار فسفر×منابع اصلاح‌کننده خاک تأثیر معنی‌داری بر درصد روغن، درصد اسانس و عملکرد اسانس سیاهدانه داشت (جدول ۷). در هر سه سطح کود شیمیایی فسفر، کاربرد منابع اصلاح‌کننده خاک تأثیر معنی‌داری در افزایش درصد روغن و اسانس سیاهدانه داشت (جدول ۹).

در شرایط عدم مصرف کود فسفر، بیش‌ترین تأثیر در افزایش درصد روغن و اسانس و نیز عملکرد اسانس سیاهدانه در نتیجه کاربرد ورمی‌کمپوست + گوگرد + باکتری *تیوباسیلوس* مشاهده گردید (جدول ۹). به‌طوری‌که تیمار ذکر شده نسبت به شاهد (عدم اعمال اصلاح‌کننده‌های خاک) منجر به افزایش درصد روغن و اسانس سیاهدانه به‌ترتیب تا ۱۵/۳ و ۹۴/۱ درصد و نیز عملکرد اسانس تا بیش از چهار برابر شد. همان‌طور که ذکر گردید، فراهمی جذب فسفر ناشی از اکسیداسیون بیولوژیک گوگرد و یا کاربرد کود آلی می‌تواند در بهبود هر چه بیش‌تر عملکرد کمّی و کیفی سیاهدانه مؤثر باشد.

جدول ۷- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) برخی شاخص‌های مربوط به عملکرد کیفی سیاهدانه در مرحله رسیدگی
Table 7- Analysis of variance (mean of squares) for some qualitative yields of black seed in maturity stage

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	درصد پروتئین خام Crude protein percentage	عملکرد پروتئین خام Crude protein yield	درصد روغن Oil percentage	عملکرد روغن Oil yield	درصد اسانس Essential oil percentage	عملکرد اسانس Essential oil yield
بلوک Block	2	2.32 *	49.227 ns	0.15 ns	921.26 ns	0.0004 ns	0.18 ns
مقدار فسفر Phosphorus rate	2	4.46 **	1673.919 **	6.02 *	3885.37 **	0.0113 **	1.35 **
اصلاح‌کننده‌های خاک Soil amendments	3	21.82 **	16824.210 **	11.49 **	44446.01**	0.0262 **	7.42 **
مقدار فسفر × اصلاح‌کننده‌های خاک Phosphorus rate×Soil amendments	6	0.17 ns	307.941 ns	4.60 *	1006.46 ns	0.0014 *	0.22 *
خطا Error	22	0.50	124.3752	1.48	452.34	0.0005	0.08
ضریب تغییرات CV (%)	-	4.02	8.11	3.61	8.13	8.30	12.39

*، ** و ns: به‌ترتیب معنی‌داری در سطح پنج درصد، یک درصد و عدم اختلاف معنی‌دار.

*, ** and ns: significant at the 0.05 and 0.01 level of probability and no significant, respectively.

جدول ۸- اثر مقدار فسفر و اصلاح‌کننده‌های خاک بر برخی شاخص‌های عملکرد کیفی سیاهدانه در مرحله رسیدگی

Table 8- Effects of phosphorus rate and soil amendments on some qualitative yields of black seed in maturity stage

مقدار فسفر Phosphorus rate (kg.ha^{-1})	اصلاح‌کننده‌های خاک Soil amendments	درصد پروتئین خام Crude protein percentage	عملکرد پروتئین خام Crude protein yield (kg.ha^{-1})	درصد روغن Oil percentage	عملکرد روغن Oil yield (kg.ha^{-1})	درصد اسانس Essential oil percentage	عملکرد اسانس Essential oil yield (L.ha^{-1})
0	-	17.00	126.09	32.85	241.52	0.25	1.93
30	-	17.35	137.02	34.11	267.29	0.30	2.39
60	-	18.19	149.69	34.03	276.16	0.31	2.59
LSD (5%)		0.60	9.44	1.03	18.01	0.02	0.24
-	C	15.31	80.16	32.04	167.94	0.21	1.10
-	V+T	18.47	157.88	33.79	288.63	0.32	2.71
-	S+T	17.54	131.61	34.21	255.81	0.29	2.17
-	V+S+T	18.73	180.74	34.61	334.25	0.33	3.23
LSD (5%)		0.69	10.903	1.19	20.793	0.02	0.28

C: شاهد، S: گوگرد، T: باکتری تیوباسیلوس، V: ورمی‌کمپوست

C: control, S: Sulfur, T: *Tiobacilus* bacteria, V: Vermicompost

جدول ۹- اثر متقابل مقدار فسفر× اصلاح‌کننده‌های خاک بر برخی شاخص‌های عملکرد کیفی سیاهدانه در مرحله رسیدگی

Table 9- Interaction effects of phosphorus rate×soil amendments on some qualitative yields of black seed in maturity stage

مقدار فسفر Phosphorus rate (kg.ha^{-1})	اصلاح‌کننده‌های خاک Soil amendments	درصد روغن Oil percentage	درصد اسانس Essential oil percentage	عملکرد اسانس Essential oil yield (L.ha^{-1})
0	C	29.81	0.17	0.75
	V+T	33.75	0.27	2.21
	S+T	33.47	0.24	1.48
	V+S+T	34.36	0.33	3.19
30	C	31.87	0.24	1.26
	V+T	34.14	0.33	2.90
	S+T	35.09	0.30	2.31
	V+S+T	35.33	0.33	3.08
60	C	34.45	0.23	1.20
	V+T	33.47	0.35	3.02
	S+T	34.08	0.32	2.72
	V+S+T	34.13	0.34	3.41
LSD (5%)		2.06	0.04	0.48

C: شاهد، S: گوگرد، T: باکتری تیوباسیلوس، V: ورمی‌کمپوست

C: control, S: Sulfur, T: *Tiobacilus* bacteria, V: Vermicompost

در این ارتباط محمد و همکاران (Mohamed et al., 2000) نیز به نقش مـؤثر کـاربرد فسـفر در افـزایش عملکـرد روغـن و اسـانس سیاهدانه اشاره کردند.

نتیجه‌گیری

در شرایط محدودیت حاصلخیزی خـاک از نظـر میـزان کربنـات کلسیم و جذب پایین فسفر، کاربرد گوگرد به‌ویژه همراه با مصرف کود آلی ورمی‌کمپوست می‌تواند ضمن افزایش حلالیـت فسـفر، بـا تحـت تأثیر قرار دادن میزان جذب نیتروژن در بهبود هر چـه بـیش‌تـر رشـد رویشی، عملکرد دانه و در نهایت، عملکـرد کیفـی سـیاهدانه بـیش از پیش مؤثر باشد. نتایج آزمایش هم‌چنین این نکته را مورد تأکیـد قـرار داد که در شرایط pH آهکی خاک، مصرف کود شیمیایی فسفر ممکن است دارای کارایی پایین بوده و تنها در شرایطی که محیط رشد ریشه گیاه از نظر pH و حلالیت فسفر مناسب و متعادل باشد، گیـاه دارویـی سیاهدانه می‌تواند واکنش پذیری مناسبی به فسفر نشان دهد.

References

AI-Jassir, M.S., 1992.Chemical composition and microflora of black cumin (*Nigella sativa* L.) seeds growing in Saudi Arabia. Food Chemistry 45: 239–242.

Alijani, M., Amini Dehaghi, M., Modares Sanavi, S.A.M., Mohammad, A., and Rezaye, S., 2010. The effects of phosphorous and nitrogen rates on yield, yield components and essential oil percentage of *Matricaria recutita* L. Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants 26: 101–113. (In Persian with English Summary)

Ashraf, M., Ali, Q., and Iqbal, Z., 2006. Effect of nitrogen application rate on the content and composition of oil, essential oil and minerals in black cumin (*Nigella sativa* L.) seeds. Journal of the Science of Food and Agriculture 86: 871–876.

AOAC (Association of Official Analytical Chemists)., 1980. Official Methods of Analysis. AOAC, Washington, DC.

Biswas, D.R, and Narayanasamy, G., 2006. Rock phosphate enriched compost: An approach to improve low-grade Indian rock phosphate. Bioresource Technology 97: 2243–2251.

Cechin, I., and De Fátima-Fumis, T., 2004. Effect of nitrogen supply on growth and photosynthesis of sunflower plants grown in the greenhouse. Plant Science 166: 1379–1385.

D'Antuono, L.F., Moretti, A., and Lovato, A.F.S., 2002. Seed yield, yield component, oil content and essential oil content and composition of *Nigalla sativa* L. and *Nigella damascena* L. Industrial Crops and Product 15: 59–69.

Duan, Z., Xiao, H., Dong, Z., Li, X., and Wang, G., 2004. Combined effect of nitrogen–phosphorus–potassium fertilizers and water on spring wheat yield in an arid desert region. Communications in Soil Science and Plant Analysis 35:161–175.

Erkan, N., Ayranci, G., and Ayranci, E., 2008. Antioxidant activities of rosemary (*Rosmarinus officinalis* L.) extract, blackseed (*Nigella sativa* L.) essential oil, carnosic acid, rosmarinic acid and sesamol. Food Chemistry 110: 76–82.

Foroughifar, H., and Poor-Kasmani, M.E., 2002. Soil Science and Management. Ferdowsi University of Mashhad Press, Mashhad, Iran. (In Persian)

Ghamarnia, H., Khosravy, H., and Sepehri, S., 2010. Yield and water use efficiency of (*Nigella sativa* L.) under different irrigation treatments in a semi-arid region in the West of Iran. Journal of Medicinal Plants 4: 1612–1616. (In Persian with English Summary)

Ghorbani Nasrabadi, R., Saleh Rastin, N., and Alikhani, H., 2001. Effect of sulfur application with *Thiobacillus* and *Bradyrhizobium* inoculants on nitrogen fixation and growth indices of soybeans. Soil and Water Research 16: 169–178. (In Persian with English Summary).

Heydarnezhad, F., Shahinrokhsar, P., Shokri Vahed, H., and Besharati, H., 2012. Influence of elemental sulfur and sulfur oxidizing bacteria on some nutrient deficiency in calcareous soils. International Journal of Agriculture and Crop Sciences 4: 735–739.

Hopkins, B., and Ellsworth, J., 2005. Phosphorus availability with alkaline/calcareous soil. Western Nutrient Management Conference, Salt Lake City, UT 6: 88–93.

Hosseinpur, A.R., Biabanaki, F.S., and Alikhani, H.A., 2011. Impact of poultry manure application on phosphorus desorption in some calcareous soils. Communications in Soil Science and Plant Analysis 42: 208–219.

Javadi, H., 2008. Effect of planting dates and nitrogen rates on yield and yield components of black cumin (*Nigella sativa* L.). Iranian Journal of Field Crops Research 6: 59-66. (In Persian with English Summary)

Kariminia, A., and Shabanpour, M., 2002. Evaluation of sulfur oxidation potential by heterotrophic microorganisms in different soils. Water and Soil Science 17: 68–79. (In Persian with English Summary)

Khorassani, R., 2010. Phosphorus uptake efficiency in corn, sugar beet and groundnut. Water and Soil 24: 180–188. (In Persian with English Summary)

Kuzmina, N.A., 1997. Nitrogen, phosphorus and potassium concentrations and their balance of durum wheat plants during different growth stages. Plant Nutrition for Sustainable Food Production and Environment 78: 97–98.

Mohamed, S.A., Medani, R.A., and Khafaga, E.R., 2000. Effect of nitrogen and phosphorus applications with or without micronutrients on black cumin (*Nigella sativa* L.) plants. Annals of Agricultural Science 3: 1323–1338.

Mohammady Aria, M., Lakzian, A., Haghnia, G.H., Berenji, A.R., Besharati, H., and Fotovat, A., 2010. Effect of *Thiobacillus*, sulfur, and vermicompost on the water-soluble phosphorus of hard rock phosphate. Bioresource Technology 101: 551–554.

Mosavi nik, M., 2012. Effect of drought stress and sulphur fertilizer on quantity and quality yield of psyllium (*Plantago*

ovata L.) in Baluchestan. Journal of Agroecology 4: 170–182. (In Persian with English Summary)

Nergiz, C., and Otles, S., 1993. Chemical composition of *Nigella sativa* L. seeds. Food Chemistry 48: 259–261.

Nickavar, B., Mojab, F., Javidnia, K., and Roodgar Amoli, M.A., 2003. Chemical composition of the fixed and volatile oils of *Nigella sativa* L. from Iran. Z. Naturforsch 58: 629–631.

Salimpour, S., Khavazi, K., Nadian, H., Besharati, H., and Miransari, M., 2010. Enhancing phosphorous availability to canola (*Brassica napus* L.) using P solubilizing and sulfur oxidizing bacteria. Australian Journal of Crop Science 4: 330–334.

Salvagiotti, F., Castellarín, J.M., Miralles, D.J., and Pedrol, H.M., 2009. Sulfur fertilization improves nitrogen use efficiency in wheat by increasing nitrogen uptake. Field Crops Research 113: 170–177.

Sameni, A.M., and Kasraian, A., 2004. Effect of agricultural sulfur on characteristics of different calcareous soils from dry regions of Iran. II. Reclaiming effects on structure and hydraulic conductivity of the soils under saline-sodic conditions. Communications in Soil Science and Plant Analysis 35: 1235–1246.

Seyyedi, S.M., Ghorbani, R., Rezvani Moghaddam, P., and Nassiri Mahallati, M., 2012. The effects of weed interference durations on phosphorus and potassium percentage and uptake efficiency of black seed (*Nigella sativa* L.) and its weeds. Journal of Plant Protection 26: 82–91. (In Persian with English Summary)

Seyyedi, S.M., Rezvani Moghaddam, P., Ghorbani, R., and Nassiri Mahallati, M., 2013. The effect of different weed-free and weed-infested periods on growth indices of black seed (*Nigella sativa* L.). Iranian Journal of Field Crops Research 11: 408-420. (In Persian with English Summary)

Seyyedi, S.M., Khajeh Hossieni, M., Rezvani Moghaddam, P., and Shahandeh, H., 2013. Effect of the increasing soluble phosphorus on seed production and quality of black Seed (*Nigella sativa* L.) in a calcareous soil. Journal of Horticultural Science, Accepted for Published. (In Persian with English Summary)

Shirani, H., Abolhasani Zeraatkar, M., Lakzian, A., and Akhgar, A., 2011. Decomposition rate of municipal wastes compost, vermi compost, manure and pistaco compost in different soil texture and salinity in laboratory condition. Water and Soil 25: 84–93. (In Persian with English Summary)

Sibbet, S.S., 1995. Managing high pH calcareous, saline, and sodic soils of the Western Pecan growing region. Hort Technology 5: 222–225.

Soaud, A.A., Al Darwish, F.H., Saleh, M.E., El-Tarabily, K.A., Sofian-Azirun, M., and Rahman, M.M., 2012. Effects of elemental sulfur, phosphorus, micronutrients and *Paracoccus versutus* on nutrient availability of calcareous soils. Australian Journal of Crop Science 5: 554–561.

Takruri, H.R.H, and Dameh, M.A.F., 1998. Study of the nutritional value of black cumin seeds (*Nigella sativa* L). Journal of the Science of Food and Agriculture 76: 404–410.

Tuncturk, M., Tuncturk, R., and Yildirim, B., 2011. The effects of varying phosphorus doses on yield and some yield components of black cumin (*Nigella Sativa* L.). Advances in Environmental Biology 5: 371–374.

Vidyalakshmi, R., Paranthaman, R., and Bhakyaraj, R., 2009. Sulphur oxidizing bacteria and pulse nutrition- A review. World Journal of Agricultural Sciences 5: 270–278.

White, P.J., and Veneklaas, E.J., 2012. Nature and nurture: the importance of seed phosphorus content. Plant Soil 357: 1–8.

Yadegari, M., and Barzegar, R., 2011. The effect of sulphur and Thiobacillus on nutrient absorption, growth and essential oil in lemon balm (*Melissa officinalis* L.). Journal of Medicinal Plants 1: 35–40. (In Persian with English Summary)

Journal of Agroecology
Vol. 11, No.4, Winter 2020, p. 1437-1448

نشریه بوم شناسی کشاورزی
جلد ۱۱، شماره ۴، زمستان ۱۳۹۸، ص ۱۴۴۸-۱۴۳۷

Effect of Calcareous Soil Amendments on Quantitative and Qualitative Yields of Black Seed (*Nigella sativa* L.)

S.M. Seyyedi[1], P. Rezvani Moghaddam[2*], M. Khajeh Hossieni[3] and H. Shahandeh[4]

Submitted: 06-12-2013
Accepted: 25-08-2014

Seyyedi, S.M., Rezvani Moghaddam, P., Khajeh Hossieni, M., and Shahandeh, H. 2020. Effect of calcareous soil amendments on quantitative and qualitative yields of black seed (*Nigella sativa* L.). Journal of Agroecology. 11 (4): 1437-1448.

Introduction
Phosphorus deficiency due to the chemical function of calcareous compounds is considered as one of the most important problems in the sustainable nutrition of black seed (*Nigella sativa* L.), especially in arid and semi-arid regions of Iran. Furthermore, low soil organic matter content in these areas can adversely affect phosphorus availability and thus challenge the sustainable production of black seed. Accordingly, biochemical modification of calcareous soils based on ecological approaches including biological sulfur oxidation or increased phosphorus solubility by organic fertilizers, such as vermicompost, may alleviate these problems.

Materials and Methods
In order to some approaches for increasing the soil soluble phosphorus and its effects on quantitative and qualitative yields of black seed in a calcareous soil, a field experiment was conducted at Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran, in the growing years of 2010-2011. A complete randomized block design based on the factorial arrangement with three replications and 12 treatments were used. The resources of soil amendment (1- Control, 2- Vermicompost + *Thiobacillus,* 3- Sulfur + *Thiobacillus* and 4- Vermicompost + sulfur + *Thiobacillus*) and three levels of phosphorus (0, 30 and 60 $kg.ha^{-1}$) were the first and second experimental factors, respectively. In order to evaluate the experimental treatments, plots were designed with 3 m long and 2 m width, 0.5 m apart from each other. To eliminate all influence of lateral effects, 1 m alley was kept between blocks. Vermicompost (pH: 7.59, organic carbon: 34.76%, total nitrogen: 2.31%, and total phosphorus: 1.78%), sulfur (along with *Thiobacillus*) and diammonium phosphate were incorporated into the soil before seed sowing. The analysis of variance and the least significant difference test (LSD: 0.05) were performed using SAS 9.3 software (SAS, 2011).

Results and Discussion
According to the results, the interaction effect of soil amendment × phosphorus rate on plant height, leaf area index and plant dry weight of black seed was significant. Biological and grain yields of black seed notably affected by the interaction between soil amendment × phosphorus rate. Based on our results, plant height significantly increased with increasing levels of phosphorus fertilizer. In addition, phosphorus solubility due to sulfur + *Thiobacillus* application considerably improved this index compared to control. From the results, grain and biological yields of black seed by applying the sulfur + *Thiobacillus* treatment were considerably higher than phosphorus 30 or 60 $kg.ha^{-1}$ treatments. The highest biological and grain yields of black seed were observed in vermicompost + *Thiobacillus* or vermicompost + sulfur + *Thiobacillus* treatments. With applying the mentioned treatments, grain yield of black seed were significantly increased (by 63.3 and 84.4%, respectively) compared to control treatment. In general, optimal growth and yield of crops are dependent on balanced nutrient uptake. Given the positive correlation between sulfur and nitrogen, as well as between phosphorus and nitrogen, the specific role of biological sulfur oxidation combined with vermicompost can be due to increased phosphorus solubility in the soil and ultimately facilitated uptake nitrogen.

1, 2, 3 and 4- PhD. Student of Crop Ecology, Professor and Associate Professor of Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran and Professor of Department of Soil and Crop Sciences Texas A & M University,USA, respectively.
(*- Corresponding Author Email: rezvani@ferdowsi.um.ac.ir)
Doi: 10.22067/jag.v11i4.27851

Conclusion

In alkali soils, biological sulfur oxidation individually or in combination with vermicompost treatment can be a suitable approach to increase the soil soluble phosphorus and quantitative and qualitative yields of black seed. The results also suggested that the application of phosphorus fertilizers in soils dominated by calcareous compounds might have limited efficacy. As a result, the biochemical reactivity of *Nigella* plant to phosphorus uptake is improved only in conditions where the rhizosphere can be balanced in terms of soil pH and phosphorus solubility.

Acknowledgements

The authors acknowledge the financial support of the project by Vice President for Research and Technology, Ferdowsi University of Mashhad, Iran.

Keywords: Essential oil percentage, *Thiobacillus* bacteria, Oil percentage, Sulfur, Vermicompost